



“微笑天使”守护者

■本报记者 李思辉 实习生 郝丽

“江豚吹浪立，沙鸟得鱼闲。”提起长江江豚，很多人眼前会浮现出“微笑天使”的可爱模样，也会想起长江江豚的守护者——位于武汉的中国科学院水生生物研究所（以下简称水生所）长江江豚保护研究团队（以下简称江豚保护研究团队）。

日前，《中国科学报》走进东湖之畔的水生所白鱀豚馆，探访荣获中国科学院第六届科苑名匠的水生所江豚保护研究团队。

白鱀豚的悲哀

与多数会议室不同，水生所白鱀豚馆的会议室中央是一张圆桌，恰似微缩的地球——这个设计隐喻全球生态治理的共通性。

在这里，江豚保护研究团队带头人、武汉白鱀豚保护基金会理事长王丁向《中国科学报》谈起他与长江江豚保护的渊源。

时间回溯到 1978 年底，国外学者多次致函我国政府，提出对长江两种鲸类动物——白鱀豚与江豚的研究请求，希望我国提供样本。彼时我国在这方面的研究还未起步，水生所受命成立研究团队，由陈佩薰等科学家领衔，从零起步，开启探索。

那时，白鱀豚已岌岌可危。研究团队发现，这一在《尔雅》中被记载的古老物种，种群仅存 300 余头，栖息地因航运、捕捞和水污染支离破碎。

1986 年 10 月，在世界首次淡水豚生物学和物种保护国际学术讨论会上，水生所研究团队提出就地保护、迁地保护和人工繁育“三位一体”的保护措施。这比国际自然保护联盟提出类似框架早 15 年。遗憾的是，当时这些措施未得到有效落实。

2006 年 11 月，一艘科考船靠岸了。王丁带领领考人员一起，在长江之畔一座码头上举行新闻发布会。面对数十台摄像机，他深吸一口气后，沉重地宣布：“白鱀豚功能性灭绝了。”

在此前历时 38 天的国际联合科考中，来自中、美、日等 7 国的 40 多名科学家，在长江 1700 公里江段未观测到任何白鱀豚踪迹。这一在长江中生存了 2500 万年的物种不复存在。

痛心之余，王丁缓过神来又说：“白鱀豚灭绝了，如果不采取有力的保护措施，长江江豚也可能在 10 年内重蹈覆辙。”

“绝不能让江豚步白鱀豚的后尘！”从那一年开始，王丁带领团队把主要研究方向转向长江江豚研究和保护。

江豚数量回升

40 多年前，水生所成立了我国第一个白鱀豚研究组，后来逐步发展为鲸类保护生物学学科组，再壮大为现在的江豚保护研究团队，王丁是这段漫长岁月里的执着坚守者。

尽管白鱀豚已经不复存在，但“白鱀豚馆”的名字一直沿用下来。现在，白鱀豚馆生活着十

多头人工繁育的江豚。它们是江豚保护研究团队的宝贝疙瘩。

江豚和白鱀豚同属鲸目海豚科，是长江中仅有的两种哺乳动物。江豚个头比白鱀豚小，肤色黝黑，嘴巴弧度很长，正面上去像在做微笑。

“江豚数量下降特别快。20 世纪 90 年代以前，大约以每年 1.5% 的速度下降；到 2006 年以前，下降速度在 6.5% 左右；2006 年至 2012 年，是 13.7%；2013 年江豚被列入世界自然保护联盟濒危物种红色名录，保护级别为‘极危’。”王丁说。

2012 年 11 月至 12 月，原农业部牵头实施了长江淡水豚考察。初步估算，长江江豚数量仅为 1040 头。此次考察之后，原农业部在武汉召开会议，研究江豚保护，王丁提出要立刻对长江江豚开展“保种”。

“长江江豚是长江生态环境的晴雨表。”2020 年，王丁给时任武汉市市长写信，提出了“江豚重返武汉”的建议。当年 11 月，武汉市出台了《推进长江江豚重返武汉城区江段工作实施方案》，提出“十大举措”，支持“江豚重返武汉”。

在中国科学院院士、水生所研究员曹文宣等专家的呼吁下，2021 年，我国正式实施长江流域十年禁渔。同年，《中华人民共和国长江保护法》开始实施。从此，长江江豚就地保护有了坚实的制度保障。

农业农村部 2022 年全流域江豚生态科学考察结果显示，长江江豚种群数量为 1249 头，相比 2017 年的 1012 头有所上升，标志着长江江豚种群数量首次呈现止跌回升的态势。

三大保护措施中另外两项——迁地保护、人工繁育也取得成功。

在江豚保护研究团队及各方共同努力下，天鹅洲长江故道迁地保护成果显著：1990 年引入的 5 头江豚，如今已繁衍至 101 头，占全国迁地种群的 2/3。通过基因交换计划，保护区向其他水域输出江豚，改善了种群遗传多样性。

“长江江豚的迁地保护看来是成功的，祝贺中国政府、王丁教授和他的团队取得的进展。”2017 年，国际捕鲸委员会在年度报告中对江豚保护研究团队给予高度评价。国际自然保护联盟评价：“这是濒危鲸类保护的里程碑式成就。”

在人工繁育方面，2005 年江豚“淘淘”在水生所出生，现在已经 20 岁了。2016 年，水生所和天鹅洲保护区联合技术攻关，在网箱环境中成功繁殖了“贝贝”。2018 年 6 月 2 日，第三头人工繁育的江豚“F7C”在水生所白鱀豚馆出生。2022 年 6 月 27 日，江豚“福久”顺利产下它的第一个“小公主”——“久久”……

水生所副研究员郝玉江介绍，白鱀豚馆目前生活着 12 头长江江豚，其中 5 头是在人工环境下成功繁育的，包括 3 头“二代”江豚。

宝贵的“中国经验”

走进水生所白鱀豚馆，《中国科学报》记者看到，一尾青灰色身影突然划破湛蓝色的水面。



江豚在水下游戏。 水生所供图

水池中十多头江豚正以独特的“豚式泳姿”穿梭其间——圆润的额头率先破水，光滑的背部划过水面，尾鳍拍出银亮的水花。

当记者走近池边，最活泼的“E 波”突然加速游动，在观察窗前猛地来了个倒立，黑亮的眼睛弯成月牙，仿佛在展示自己的“招牌微笑”。

这头体重超百斤、丰满圆润的江豚是这里的明星。“它聪明好学，充满活力，不仅能‘踢球’、会吐水，玩得了呼啦圈，还学会了与妈妈‘福七’一起玩游戏。”江豚训练员邓正宇介绍。

很多人不知道的是，活泼的它曾命悬一线。2018 年 6 月 2 日下午 2 点，正是“福七”的生产时刻，十多名科研人员和训练员凝视着监控画面。大家通过监控发现，分娩中的母豚行为异常平静，幼豚尾鳍虽已露出，但因脐带缠绕无法上浮换气，情况非常危急。

“江豚靠肺呼吸，若 30 秒内无法完成首次呼吸，幼豚便会窒息。”邓正宇介绍。

危急时刻，训练主管王超群跳入池中，在母豚受惊游动的瞬间托住幼豚。随后，一声清脆的喷气声响起，“E 波”成功挣脱脐带束缚。一个新生命诞生了！

与“E 波”的日间分娩不同，江豚“汉宝”诞生在 2020 年 6 月 3 日凌晨。当天，几乎所有工作人员都守候在侧，监测幼豚行为，统计母豚哺乳频次。

“幼豚存活仅是第一步，江豚母子关系的建立尤为关键。若母豚未及时引导哺乳和辨别方向，幼豚仍存在生存危机。”邓正宇介绍。直至次日上午 10 点，画面终于捕捉到“汉宝”成功吮吸母乳的瞬间，大家悬着的心才终于放了下来。

作为我国全人工环境中首次成功繁育并存活的第二代长江江豚，“汉宝”的成功繁育标志着长江江豚人工饲养繁育研究进入一个新阶段。

如今，王丁所在的团队和白鱀豚保护基金会正将江豚保护的复制到其他濒危物种保护中，并与联想等企业合作启动了“江豚保护出海”计划。在柬埔寨、孟加拉等有淡水豚分布的国家推广“中国方案”。

有评论认为，江豚研究保护已成为世界大河文明和生态文明建设的“中国范本”。水生所江豚保护研究团队 40 多年的努力，不仅为江豚繁育提供了科学保障，而且显著提升了公众对水生生物保护的文化认同，为全球生态保护提供了宝贵经验。



鸟儿为什么不怕酸？

■本报记者 张楠

初夏，几只鸽子啄食着观赏用的酸枇杷。枇杷果实 pH 值低至 2.5，酸度与柠檬相当，足以让人类龋牙咧嘴，却为何成了鸟类口中的美食？

中国科学院昆明动物研究所（以下简称昆明动物所）研究员赖幼团揭开了鸟类耐受高酸食物的演化奥秘。他们发现，鸟类通过酸味受体 OTOP1 的关键功能演化，大幅降低了对酸味的不适感。

这项研究揭示了该受体在低 pH 值环境下主动“关闭”的特性，使鸟类能大量取食高酸野果。这为理解物种辐射演化提供了关键分子证据，也为探索生物多样性形成的深层机制提供了重要线索。相关成果 6 月 20 日发表于《科学》。

枇杷树下的追问

这一研究的兴趣之门，是由昆明动物所园区几棵观赏性枇杷树叩开的。

“那时正是枇杷成熟季节，我们师兄弟几人在散步时发现，园子里掉落的枇杷经常被鸟啄得满是孔洞。我们还以为挺好吃，谁知嚼起来非常酸。”论文共同第一作者、昆明动物所博士生张浩告诉《中国科学报》。

他们特意把果子带回实验室测量酸度。结果显示，这些被鸟儿青睐的酸枇杷 pH 值达到 2.5，与市场上购买的甜枇杷截然不同，而与柠檬酸度相近。

更让人困惑的是，鸟儿并非浅尝辄止。“果子上有很多啄食的孔，说明它们不是尝一口就放弃了。”张浩的兴趣越发浓厚。

哺乳动物通常对酸味极其敏感，视其为潜在有害的警示信号。鸟类为何对如此高浓度的酸具有超强耐受性？这与鸟类广泛取食酸性野果的习性有何关联？

经与导师赖幼团细致商议，带着枇杷树下萌生的疑问，团队决心探索这一未知领域。

酸味受体的“开关革命”

研究面临的首要挑战是找到阴阳关键的“分子钥匙”。团队将目光投向了酸味受体 O-TOPI。该受体在哺乳动物中的作用在 2019 年左右被学界初步阐明，但在鸟类中的功能未知。

通过克隆并检测鸽子和金丝雀的 OTOP1 受体功能，团队发现了令人惊异的现象。在哺乳动物中，该受体为线性激活，也就是遇到的 pH 值越低、酸性越强，该受体的功能越强；而在鸟类中，该受体在 pH 值低于 3.5 的环境中，功能反而被抑制，呈现独特的 V 字形响应曲线。

“就像细胞表面的一扇窗。”张浩打了个比方，“哺乳动物的酸受体窗在强酸中‘越开越大’；鸟类的这扇窗却在 pH 值很低时自动‘关闭’，减少了酸味信号向神经系统的传递。”

这种主动“关闭”的特性，正是鸟类耐受高酸的核心分子机制。为验证这一机制，研究团队进行了多角度功能验证。

一方面，他们将金丝雀的 OTOP1 基因敲入小鼠体内。结果发现，这些小鼠对酸味的神

经反应信号显著降低。另一方面，通过经典的双瓶偏好饮水测试评估，利用药理学调控削弱鸽子和金丝雀等鸟类 OTOP1 受体的抑制功能，这些鸟类的酸耐受能力显著下降。

这两项关键实验如同找到了控制鸟类耐酸能力的“分子开关”，确切证明了 OTOP1 酸抑制功能在鸟类适应酸性食物中的核心作用。

鸣禽的“酸甜”优势

研究并未止步于机制发现。团队进一步溯源分子演化历程，锁定了使鸟类 OTOP1 具有酸抑制特性的 4 个关键氨基酸位点——H239、L306、H314、G378。其中，金丝雀等鸣禽类发生了 G378 位点突变，酸耐受能力比其他鸟类更高。

通过重建鸟类祖先受体，团队揭示了一个更宏大的演化图景：鸣禽类酸耐受能力的增强，与其甜味感知能力的获得几乎同步发生。这意味着，鸣禽酸味受体 OTOP1 与甜味受体在演化进程中极有可能存在协同作用。

“这种‘酸甜协同感知’是自然选择的精妙设计。”研究人指出。它使得鸣禽既能有效耐受果实中的高有机酸，免受不适感困扰，又能敏锐感知其中的糖分。

作为多样性最高的陆生脊椎动物，鸟类快速辐射演化的关键因素之一，是通过营养感知进化获得了灵活适应食物资源能力和新食物开发能力。水果是大部分鸟类的重要食物来源，尤其在食物匮乏期和迁徙过程中，为其提供了关键能量支持。

这种双重能力的结合，极大提高了鸣禽对水果资源的开发利用效率，可能是其在演化历程中快速辐射、占据多样化生态位的又一关键创新优势。

该成果经历两轮审稿后，获得审稿人一致认可，建议发表。不过研究者保持审慎：“目前检测的鸟类种类有限，不敢说结论放之四海而皆准。”张浩表示，食种子、食虫等其他不同食性鸟类的酸味感知是否存在差异？像果蝠、猩猩等专门以水果为食的哺乳动物是否也发生了类似的味觉受体演化？这些都是研究的延续方向。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1126/science.adr7946>



爱吃酸果的金喉拟啄木鸟。 受访者供图

又强又稳！科学家实现 71.36 特斯拉平顶脉冲磁场

本报讯（记者李思辉 通讯员高翔）近日，华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心教授李亮团队成功实现 71.36 特斯拉平顶脉冲磁场，进一步巩固了我国在该领域的国际领先地位。此前，该团队已于 2018 年创下 64 特斯拉世界纪录。

据介绍，平顶脉冲磁场是强磁场技术前沿方向，兼具稳态与脉冲优势，能实现高磁场强度且稳定维持，为核磁共振等研究提供了独特的实验条件。针对强电磁力下磁体结构稳定与大电流精确调控两大难题，研究团队在材料与调控技术上实现突破，自主研发出国产高强度高导电铜合金导线，抗拉强度较原有材料提升近

40%；创新性将瞬态控制问题转化为逆向电路拓扑设计，实现预构磁场波形精准生成。

最终，研究团队以高稳定性（稳定性 0.39%，持续时间 12.11 毫秒）的 71.36 特斯拉平顶脉冲磁场刷新世界纪录，场强比国外现有水平高 19%。

据悉，该团队牵头承建的“十四五”国家重大科技基础设施——脉冲强磁场实验装置优化提升项目已于 2024 年全面进入建设阶段，70 特斯拉平顶脉冲磁场是其三大核心技术指标之一。李亮表示：“此次突破既验证了技术优势，也为项目推进奠定了坚实基础。”

注射一次管半年，艾滋病预防新药获批



本报讯 近日，美国食品药品监督管理局（FDA）批准了一种预防艾滋病病毒（HIV）感染的逆转录病毒药物——来那卡帕韦。该药只需一次腹部注射即可提供长达 6 个月的防护。公共卫生专家认为，这种药物可能有助于遏制全球 HIV 感染蔓延。

据《科学》报道，来那卡帕韦靶向阻断一种 HIV 蛋白，而科学家最初认为该蛋白并非合适的药物靶点。此前研发团队成功始终有“一步之遥”。最终，看似该药物致命的弱点——不溶性，却使其成为理想的暴露前预防（PrEP）形式。研究人员称，由于该药物在人体内可停留数月之久，相比市面上已有的每日 PrEP 药片方案，它可能更有效，尤其是对撒哈拉以南非洲的年轻女性而言，因为她们难以坚持每日服药。

该药获批也为美国吉利德科学公司（以下简称吉利德）长达 20 年的曲折研发之旅画上了句号。

当来那卡帕韦启动研发时，吉利德已成功研发了其他几种 HIV 预防药物，均靶向一种酶。但这类酶抑制剂仍存在弊端。患者往往需每日服用多片药物，且有副作用。

“于是我们开始审视 HIV 的整个复制周期，看看哪些薄弱环节可以用小分子干扰。”吉利德的 Tomáš Cihlár 回忆说。他们选择了一种

名为衣壳的蛋白。衣壳并非酶，而是一种结构蛋白，形成保护病毒 RNA 的外壳，但它缺乏明确的靶向位点。

其他研究表明，一种衣壳抑制剂 PF74 可通过多种方式干扰 HIV 的早期生命周期。看到这条新线索后，吉利德团队制作了晶体结构，观察该分子如何与衣壳蛋白结合。这为研究人员提供了改进路线图。

吉利德团队最终选定了一种名为 GS-6207 的化合物。GS-6207 不易溶于水，由其制成的口服药片能穿过肠道而不被吸收，这使它具有持久效力。

2018 年，该公司开始在健康志愿者和 HIV 感染者中开展临床试验，以确定合适剂量，并确保安全性。GS-6207 被命名为来那卡帕韦。

按完全抑制病毒复制所需剂量衡量，来那卡帕韦的效力是现有最佳逆转录病毒药物的 10 倍。2024 年，有研究显示其预防 HIV 感染的有效率为 96%，另有研究显示有效率为 100%。这些研究成为该药物获 FDA 批准的依据。

（李木子）



来那卡帕韦通过破坏衣壳蛋白（蓝色和紫色）预防 HIV 感染。 图片来源：JOHN BRIGGS

复杂合金创屈服强度与拉伸塑性新纪录

本报讯（见习记者李媛）近日，西安交通大学材料学院教授张金钰、马恩和中国科学院院士孙军团队研发的复杂合金，创造了屈服强度与拉伸塑性新纪录。相关研究成果发表于《自然》。

金属材料的高屈服强度与拉伸塑性对其工程应用至关重要，然而两者往往难以兼得。如何设计屈服强度达到 2GPa 且均匀延伸率明显高于 10% 的合金，是材料科学领域面临的重大挑战。研究团队在前期成果的基础上，提出使用超

高体积分数的金属间化合物析出相，即共格 L1₂ 纳米相和非共格低模量硬塑性 B2 微米相，耦合强化 FCC 富铁复杂合金基体。

多主元合金的设计理念使得复杂合金拥有巨大的成分选择空间，这给基于传统的“试错法”设计高性能合金带来了困难。为此，团队成员基于领域知识辅助的机器学习方法进行了成分筛选，通过高固溶度的轻元素 Al 和 L1₂ 相畴畴界能提升最显著的元素 Ta 协同合金化，获

得了 L1₂+B2 双析出相强化 Fe₅₀Ni₂₀Co₂₀Al₁₀Ta₃（原子百分比）复杂合金。

这种方式显著提升了合金的加工硬化性能，从而提高其屈服强度与拉伸塑性，使合金在室温下实现了前所未有的强度-塑性组合，明显优于迄今已报道的所有合金。团队提出的合金设计策略也为其其他高性能合金设计提供了新思路。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09160-2>